

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2022.02.009

南襄盆地地质结构与形成演化

李智^{1,2}, 张志业^{1,2}, 李双建¹, 熊健², 安艳君²

(1. 中国石化深部地质与资源重点实验室 北京 102206; 2. 中石化河南油田分公司 河南 南阳 473400)

摘要:南襄盆地是以古近系沉积为主的中—新生代含油气盆地,分析其地质结构和形成演化对盆地油气勘探和研究造山带之上盆地构造特征均有重要意义。笔者以重磁电、地震、钻井和测井资料为基础,系统分析南襄盆地的地层展布、构造特征和形成演化,探讨各凹陷地质结构差异的控制因素,分析盆地成因。通过研究认为,南襄盆地是由深大断裂分割的数个隆起和半地堑型凹陷组成,平面具分带、分块构造格局;垂向上由不整合面划分为基底、上白垩统、古近系、新近系—第四系 4 套构造—地层层序。其构造演化可划分为晚白垩世断陷初期—白垩纪晚期差异反转期、古近纪强烈断陷—廖庄组沉积末期强烈隆升剥蚀、新近纪拗陷期 3 个伸展—聚敛构造旋回。泥岩滑脱作用和基底性质差异导致的控凹边界断裂沉降差异,是盆地各凹陷地质结构差异的主控因素。南襄盆地是在晚白垩世以来北西—南东向剪切拉张应力场下地幔隆起和地壳下沉均衡作用下形成的简单剪切型伸展拆离盆地。

关键词:南襄盆地;地质结构;构造演化;基底性质;断层特征;泥岩滑脱

中图分类号:TE121.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-6248(2022)02-0116-12

Geological Architecture and Tectonic Evolution of Nanxiang Basin

LIZhi^{1,2}, ZHANG Zhiye^{1,2}, LI Shuangjian¹, XIONG Jian², AN Yanjun²

(1. SINOPEC Key Laboratory of Geology and Resources in Deep Stratum, Beijing 102206, China;

2. SINOPEC Henan Oilfield Company, Nanyang 473400, Henan, China)

Abstract: Nanxiang basin is a Mesozoic-Cenozoic petroleum basin developed on the eastern Qinling fold orogenic belt in the late Yanshan movement and dominated by paleogene sediments. The analysis of geological structure and tectonic evolution plays a significant role in oil-gas exploration and structural research of basins above orogenic belts. Based on gravity, magnetism, electricity, seismic, drilling and logging data, guided by normal fault related fold theory and structural restoration theory, this paper systematically analyses the structural characteristics, stratigraphic distribution and tectonic evolution of Nanxiang basin, explores the controlling factors of geological structure differences in depressions, and analyses the origin of Nanxiang basin. It is considered that the Nanxiang basin is composed of several semi-graben depressions separated by deep and large faults and uplifts, with a tectonic framework of north-south zoning and east-west block

收稿日期:2021-11-27;修回日期:2022-01-24;网络发表日期:2022-05-10;责任编辑:李辉

基金项目:国家自然科学基金企业重点联合基金“盆地深部地质作用过程与资源效应”(U20B6001)和国家自然科学基金企业创新发展联合基金“海相深层油气富集机理与关键工程技术基础研究”(U19B6003)资助。

作者简介:李智(1989-),男,博士,助理研究员,长期从事盆地构造解析及石油地质综合研究。E-mail:lizhicug@163.com。

and is divided into basement structural layer, upper Cretaceous structural layer, Paleogene structural layer and Neogene-Quaternary structural layer on the section. Its tectonic evolution can be divided into three extensional-convergent tectonic cycles: the Late Cretaceous fault depression-the Late Cretaceous inversion denudation, the Late Paleogene extensional rift-the Liaozhuang Formation inversion denudation and the Neogene depression period. The mudstone slippage and difference of the boundary faults caused by the difference of basement properties is the main controlling factors for the differentiation of geological structure in each depression of the basin. Nanxiang basin is a simple shear-type extensional detachment basin formed under the balance of mantle uplift and crustal subsidence under the NW-SE shear-tensile stress field since late Cretaceous.

Keywords: Nanxiang basin; geological architecture; tectonic evolution; basement properties; fault characteristics; mudstone slippage

沉积盆地是石油、天然气、煤炭、铀矿等多种能源和矿产资源的赋存场所,研究其地质结构对于盆地的性质、形成演化和能源勘探开发均具有重要意义(何登发等,2009)。盆地地质结构是一个四维概念,垂向上是由不整合面分隔的包括基底和沉积盖层在内的多套构造-地层层序;平面上是由深大断裂分割的多个坳、隆或不同块体;时间上是多期历史演化阶段构造特征的叠加。盆地的平面分带、分段、垂向分层、时空演化是其地质结构的基本特征(李智等,2021)。开展盆地地质结构的研究,对于探讨盆地地质结构对矿产资源的控制作用具有重要意义(何登发等,2017)。

南襄盆地位于河南、湖北两省交界处,是以古近系沉积为主的中-新生代含油气盆地,面积约 $1.7 \times 10^4 \text{ km}^2$;盆地平面上具“五隆五凹”的构造单元格局,可划分为社旗凸起、师岗凸起、新野凸起、唐河低凸起、双沟低凸起 5 个正向构造单元和泌阳凹陷(面积约 $1\ 000 \text{ km}^2$)、南阳凹陷(面积约 $3\ 600 \text{ km}^2$)、邓州凹陷(面积约 800 km^2)、襄阳凹陷(面积约 $3\ 950 \text{ km}^2$)和枣阳凹陷(面积约 $2\ 950 \text{ km}^2$) 5 个负向构造单元(图 1)。盆地各凹陷构造特征、形成演化、沉积体系、地层展布、含油气性存在较大差异。对盆地的研究已有 50 余年,在大地构造背景和深部重磁电特征、构造特征和形成演化、地层层序格架和沉积体系展布、成藏机理和油气分布规律、非常规油气地质学等方面均取得了大量成果(秦伟军等,2005;程学峰,2006;陈祥等,2011;李智等,2020a)。但对盆地的研究呈现出不平衡性。例如,平面上,对盆地的研究集中于泌阳、南阳 2 个富油凹陷,对其余凹陷和凸起的

研究较少,对凹陷、凸起之间的构造耦合关系也缺少解释;纵向上,主要集中于含油气层段——核桃园组,缺少对包括基底在内整个构造-地层层序展布的深入剖析。因此,需要对盆地的地质结构、构造演化、成盆机理开展全面分析,为深化老油区地质认识和开拓新地区、新领域和新类型油气勘探提供指导。

笔者以近年来南襄盆地的重磁电、地震、钻井和测井资料为基础,以正断层转折褶皱理论和构造复原理论为指导,系统分析南襄盆地的地层展布、构造特征和形成演化,探讨南襄盆地地质结构的控制因素,分析其盆地成因,为造山带之上沉积盆地地质研究和油气勘探提供借鉴。

1 区域地质概况

1.1 大地构造背景

南襄盆地位于河南、湖北两省交界处,是自晚白垩世开始发育,受多组断裂围限,由数个断陷及凸起组成的山间盆地(图 1)。大地构造位置位于华北板块和扬子板块俯冲碰撞形成的秦岭-大别褶皱造山带之上(Li S G et al., 1993;解东宁等,2006);以南襄盆地为界,东部为大别造山带,西部为东秦岭造山带;印支期,华北板块和扬子板块在西峡-内乡-桐柏断裂一带全面碰撞缝合,转入陆内造山作用阶段;在白垩纪,随着特提斯海槽关闭及印度板块和欧亚板块聚敛碰撞后伸展,原北西西向压扭断裂带反转为左行拉分性质;太平洋板块沟-弧-盆体系的远程效应使郯庐断裂等北东向断裂右行剪切运动(李超等,2002);在 2 组断裂的离散拉分之下,在陆内伸展-走

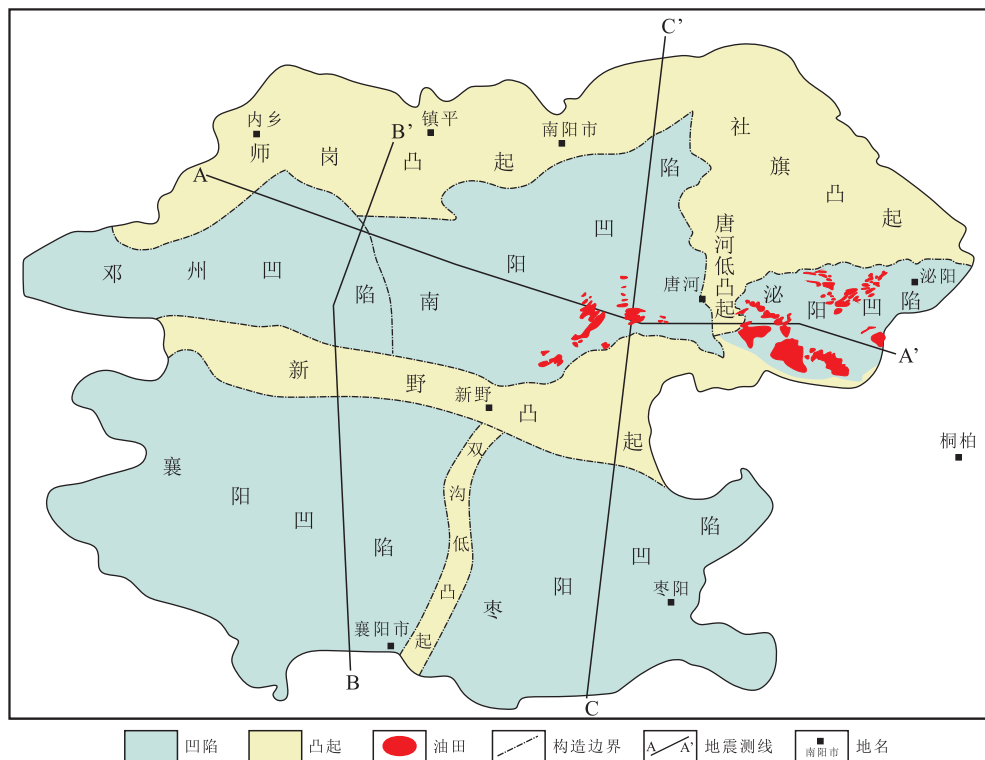


图1 南襄盆地构造单元划分及地震测线位置图

Fig. 1 Division of tectonic units and location map of surveying lines in Nanxiang basin

滑-弱挤压的背景下形成了南襄盆地等一系列盆地。

1.2 盆地基底

南襄盆地地处华北地块和扬子地块俯冲碰撞形成的秦岭-大别褶皱造山带之上;2个板块的中生代以前的地层和组成褶皱带的岩石组合构成了南襄盆地的基底。盆地基底是由元古界、古生界结晶变质岩系和中生界陆相碎屑岩系组成的复合体,被北西-南东向基底断层分割为多个条带状展布的基底构造-岩相带(Mattauer et al., 1985; Xu Z Q, 1987; Wu Y B et al., 2008; Liu X C, 2010)。以栾川-方城-明港断裂、镇平-唐河-松扒断裂(商丹断裂)、襄樊-广济断裂为界,将南襄盆地及其周缘基底划分为华北地块、北秦岭褶皱带、南秦岭褶皱带、扬子地台4个分区。其中,北秦岭分区可细分为宽坪群(元古代晚期的云母片岩、含石榴石片麻岩、角闪岩和硅质大理岩组成)、二郎坪群(寒武纪-奥陶纪碧玉角斑岩系、中基性火山碎屑岩、绿泥片岩、云母石英片岩、浅粒岩、斜长角闪岩、大理岩组成,年龄为300~507 Ma)、秦岭群(早元古代花岗岩片麻岩和混合岩,年龄为2 226~2 298 Ma)3个构造-岩相带;南秦岭分区可细分为信阳群(中晚泥盆世绢云母石英片岩、绿

泥石绢云母片岩、石英岩、角闪片岩、变粒岩夹黑云母角闪石大理岩,年龄为476.7 Ma)、陡岭群-桐柏山群(晚太古-早元古代混合片麻岩、混合花岗岩片麻岩,年龄为2 820~2 650 Ma)、浙川古生界(震旦纪-石炭纪海相地层,未见明显变质作用)、随县群(由上元古界巨厚复理石和酸性火山碎屑变质而成,年龄为796 Ma)、两郧群(由变火山、变沉积岩系组成)和随南下古生界(下古生界硅质页岩、泥质灰岩、千枚岩、变玄武质火山岩组成)6个构造-岩相带(李宗耀等, 2017; 李运冬等, 2018)。泌阳凹陷基底地层属北秦岭地层分区;南阳凹陷位于南秦岭和北秦岭过渡带;邓州凹陷、襄阳-枣阳凹陷基底地层属南秦岭地层分区(图2)。

1.3 沉积盖层

南襄盆地各次级凹陷地层层序及各段岩性全区可以对比,整体发育中生界上白垩统和新生界,为一套“类裂谷性质”沉积建造。自下而上论述如下(图3)。

上白垩统为不整合覆盖在盆地基底之上的红色砂砾碎屑岩;玉皇顶组为超覆在上白垩统之上的暗棕色泥岩与浅棕红色砂砾岩;大仓房组以紫红色泥

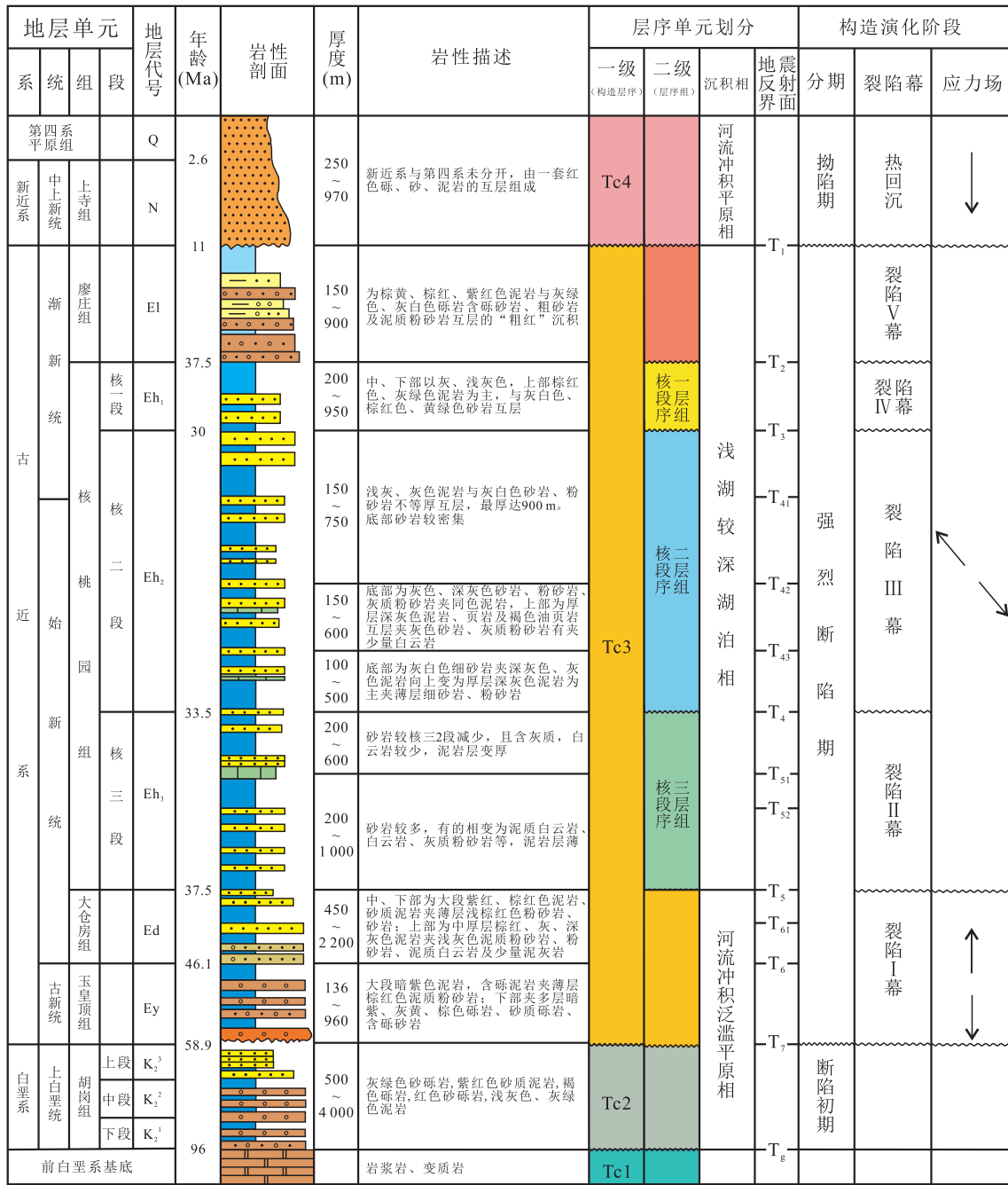


图3 南襄盆地沉积柱状图

Fig. 3 Sedimentary column map of Nanxiang basin

井一带; 枣阳凹陷平面形状不规则, 平面走向近南—北向, 有数个沉降中心, 最大埋深超 4 500 m, 位于枣 22 井一带(图 4)。

剖面上, 南襄盆地各次级凹陷均属于受边界断裂控制的半地堑, 构造样式有反向翘倾断块、同向翘倾断块、地堑、地垒等伸展构造样式和先期拉张伸展、后期挤压逆冲的正反转构造样式(图 5)。

泌阳凹陷边界断裂为唐河-栗园断裂和栗园-泌阳断裂。唐河-栗园断裂为延伸 33 km、北西西走向的北倾犁式正断层, 断距自西向东变大, 大于 8 000 m, 平面呈凹向盆地的弧形; 栗园-泌阳断裂剖面呈犁式正断层转坡坪式正断层, 平面形态呈折线, 具明显分段性, 凹陷剖面构造样式属于高角度简单犁式断裂控制的半地堑构造样式、犁式拆离面上伸

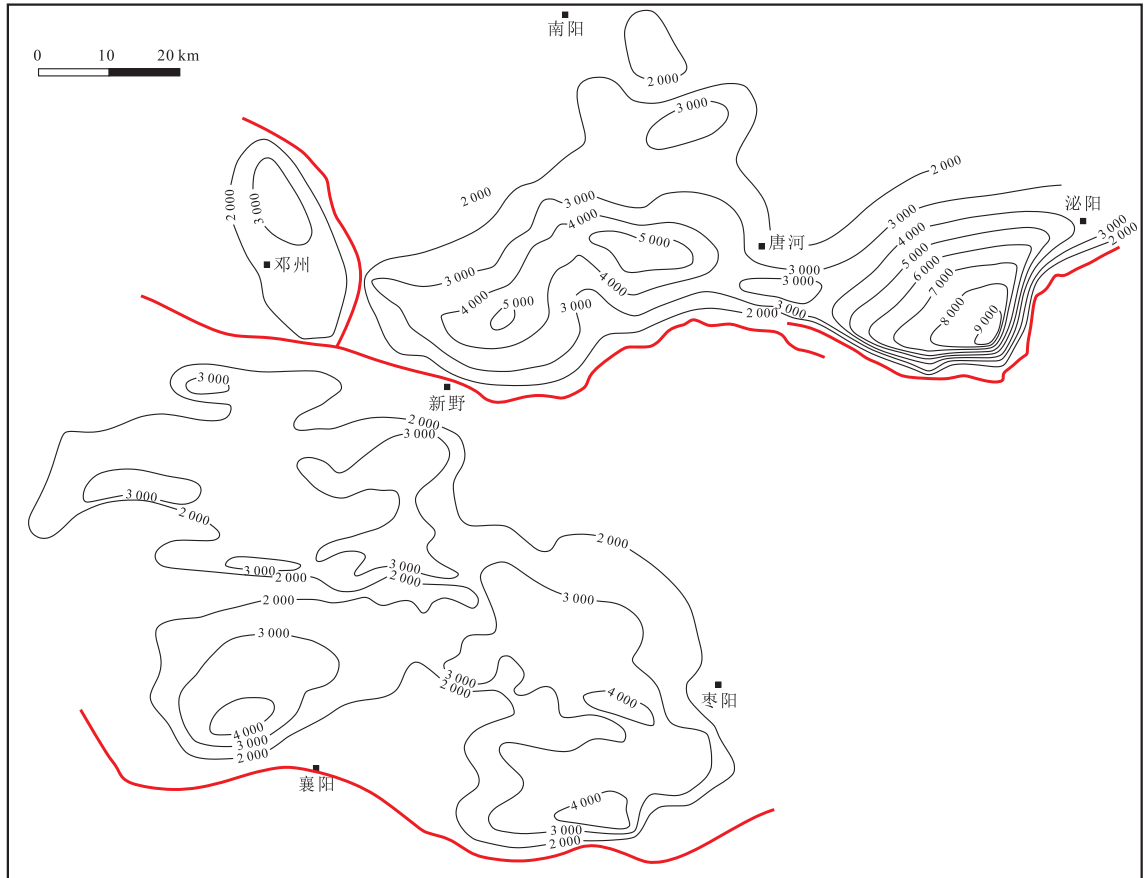


图 4 南襄盆地基底埋深等值线图

Fig. 4 Basement depth contour map of the Nanxiang basin

展产生的低幅度滚动背斜及其相关核部垮塌地堑构造。

南阳凹陷边界断裂为新野断裂,断裂规模大,自西向东由西—东走向、北东走向、西—东走向 3 段组成,延伸近 60 km,倾角为 $25^{\circ}\sim 30^{\circ}$,断距为 4 600 m,呈座椅式正断层向深部收敛。凹陷剖面构造样式属于低角度坡坪式断层控制的双断地堑构造样式。次级断层组合有“y”字型、反“y”字型、阶梯状及包卷式组合等样式(李智等,2020b)。

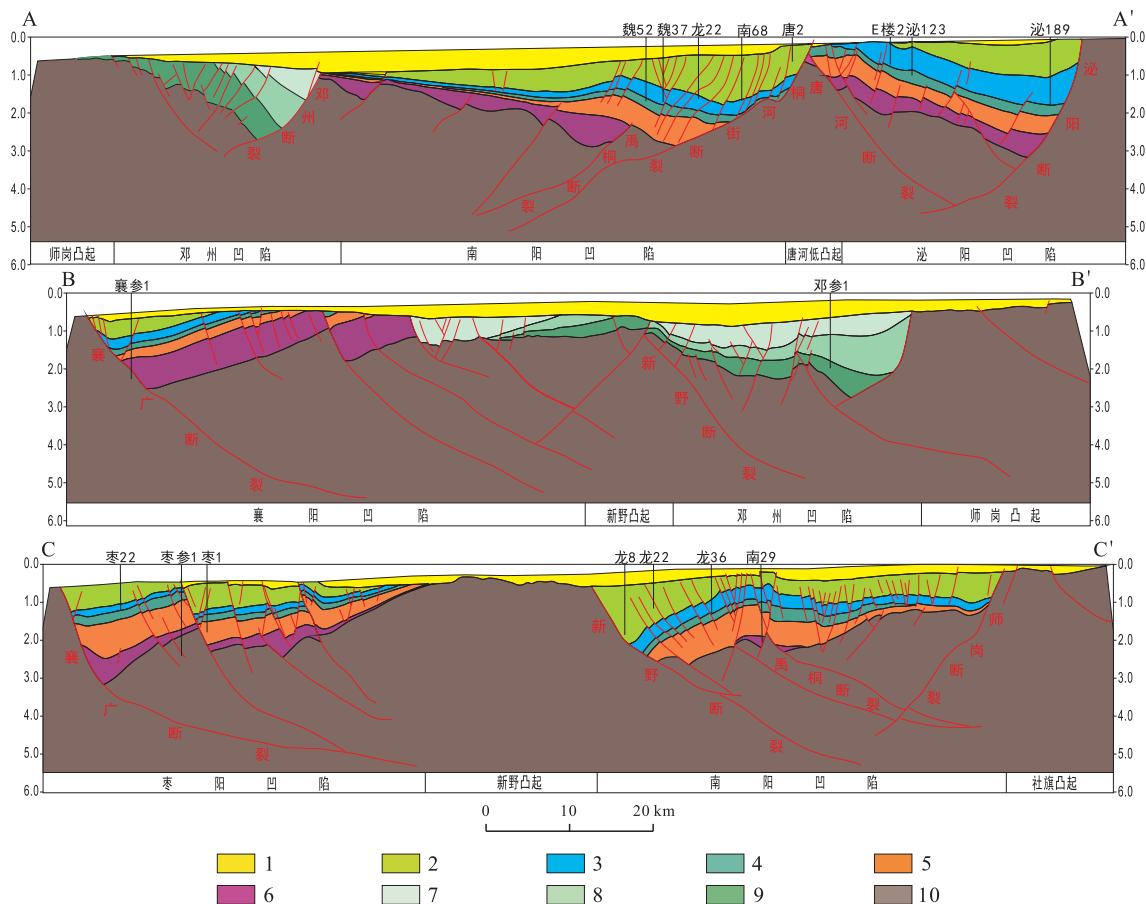
襄阳、枣阳凹陷的边界断裂为襄樊—广济断裂,近西—东走向,剖面形态呈犁式,上陡下缓,断距大于 6 000 m。襄阳—枣阳凹陷剖面样式属于由被同伸展沉积楔充填的多米诺式半地堑组成,半地堑内地层为平板状。

邓州凹陷边界断裂为邓州断裂,平面呈弧形,延伸长度 45 km,最大断距为 3 500 m,剖面呈上陡下缓的犁式。邓州凹陷剖面构造样式属于低角度简单犁式断裂控制的半地堑构造样式。

新野凸起是分隔南襄盆地南北凹陷带的重要隆起,其走向呈北西西—南东东向,具东西分段性。东段分隔枣阳凹陷与南阳凹陷,基底埋深浅,小于 1 000 m,剖面为新近纪—第四系,基底两层结构;西段分隔襄阳凹陷与邓州凹陷,基底埋深较深,剖面上为新近系—第四系、上白垩统、基底三层结构。

3 构造演化

在南襄盆地的基于地震剖面上识别同相轴超覆、削截现象,根据不整合划分构造—地层层序。根据单井沉降特征,由点到面分析区域沉降过程,认为盆地沉降、沉积具明显迁移性。上白垩统沉积中心位于邓州、襄阳一带;古近系沉积中心东移至泌阳、南阳一带;新近系沉积中心又迁移至邓州凹陷。结合平衡演化分析,将南襄盆地构造演化划分为 5 期共 3 个伸展—聚敛构造旋回(图 6)。



1. 新近系—第四系; 2. 廖庄组—核二段; 3. 核三段; 4. 大仓房组; 5. 玉皇顶组; 6. 上白垩统; 7. 上白垩统一段;
8. 上白垩统二段; 9. 上白垩统三段; 10. 基底

图5 过南襄盆地基干地震地质剖面图

Fig. 5 Seismogeological section of the Nanxiang basin

3.1 断陷初期(晚白垩世)

晚白垩世区域岩石圈伸展减薄,北西向断裂差异活动强烈,在断层拉张段旁形成剪切-拉张凹陷。襄樊-广济断层、新野断层、内乡-桐柏断层左旋剪切活动形成襄阳凹陷、枣阳凹陷、邓州凹陷、南阳凹陷及泌阳凹陷。其中,邓州凹陷为犁式正断层控制的半地堑;泌阳凹陷为犁式正断层控制的双断型断陷;南阳凹陷、襄阳凹陷、枣阳凹陷为多米诺式半地堑组合。上白垩统为一套红色山麓洪积相、河流相碎屑岩系,属断陷早期充填沉积,与基底呈不整合接触。盆地构造活动西强东弱,该时期 BB'剖面拉张量达 12.31 km,CC'剖面拉张量仅 5.63 km。地层在襄阳、枣阳、邓州凹陷沉积广泛,覆盖全区,厚度大,在邓州凹陷最厚达 4 000 m,襄阳凹陷最厚达 2 400 m,泌阳凹陷次之。南阳凹陷上白垩统分布呈近东

西向条带状展布,厚度最小,最大厚度仅 1 300 m (图 7)。

3.2 差异反转期(白垩纪晚期)

白垩纪晚期,区域应力场由伸展反转为挤压,在南襄盆地发生区域性差异隆升剥蚀,形成中、新生界之间不整合,在部分地区形成正反转构造。新野隆起带隆升幅度大,遭受强烈剥蚀,形成古近纪新野隆起的锥形。新野古隆起具东西分段性,在盆地东部基底出露地表,持续遭受剥蚀,未覆盖沉积层;在盆地西部上白垩统遭受隆升剥蚀,但反转程度有限,仍有一定残余厚度(图 6)。

3.3 强烈断陷期(古近纪玉皇顶—核桃园组沉积期)

古近纪,在伸展应力场下白垩纪原型盆地发生差异沉降,伸展裂陷主要沿白垩纪构造发育,具较好继承性叠加。盆地 AA'剖面总拉张量达 16.83 km,

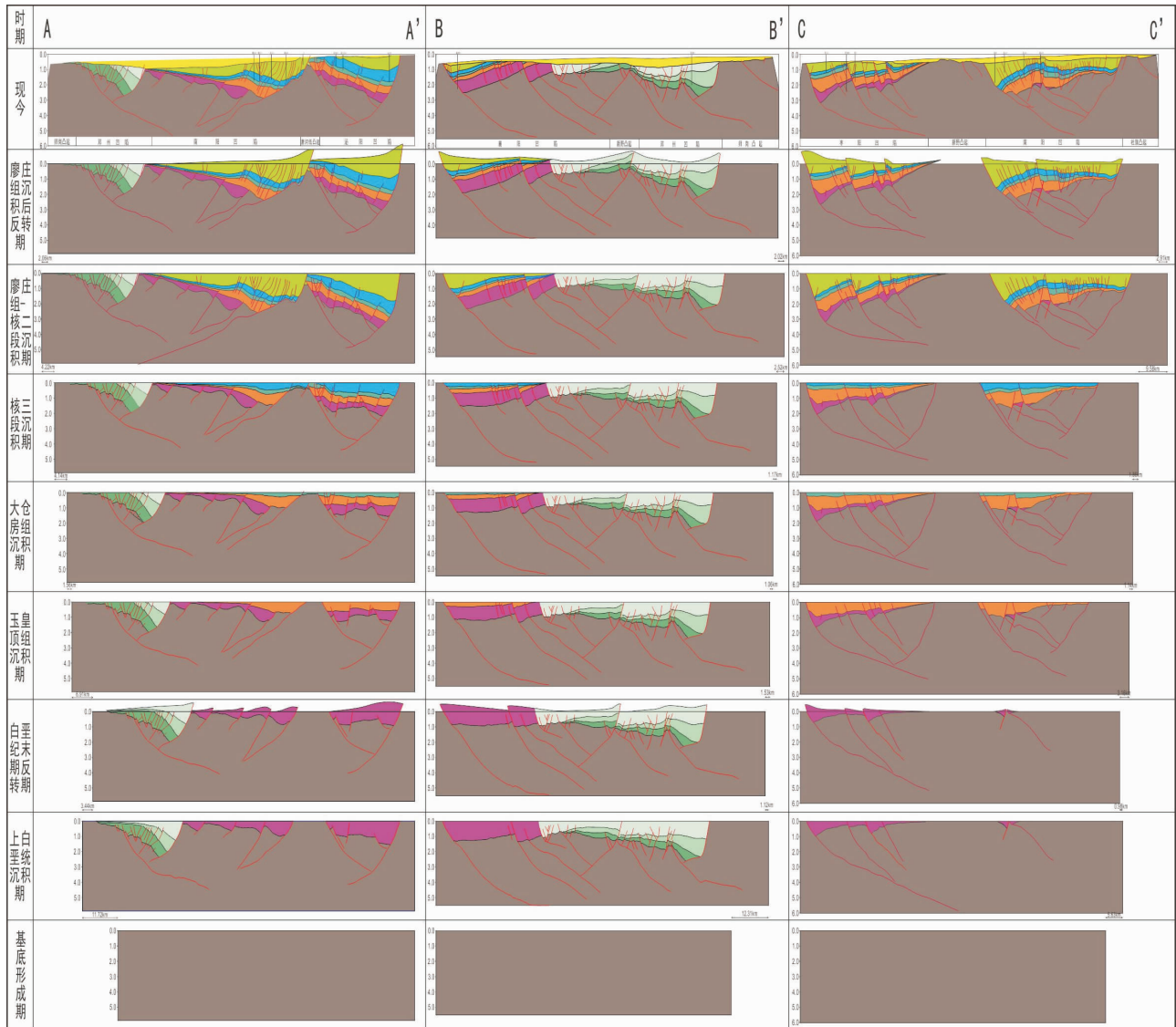


图 6 过南襄盆地基干剖面的构造复原演化图

Fig. 6 Structural restoration of the base-stem section of the Nanxiang basin

BB'剖面总拉张量为 6.28 km, CC'剖面总拉张量为 15.74 km, 反映盆地在该沉积期拉张强度西弱东强, 南弱北强, 沉降沉积中心逐渐向盆地东部、北部迁移。

玉皇顶组沉积期, 断裂作用主要沿白垩纪断层继承性活动, 各凹陷构造作用强度、变形幅度和特征相似, 各凹陷地层沉积厚度基本相似。

大仓房组沉积期, 盆地构造活动西弱东强, 襄樊-广济断层活动强度降低, 伸展构造作用变弱; 襄阳、枣阳凹陷沉积相对局限, 主要为红色、灰色泥岩, 夹砂质泥岩、粉砂岩, 少量团块状石膏; 南阳凹陷活动变强, 泌阳凹陷最强。地层最大沉积厚度在襄阳-枣阳凹陷、南阳凹陷、泌阳凹陷, 分别为 2 000 m、3 000

m、3 600 m。

核桃园组沉积期, 南襄盆地南北差异沉降幅度进一步扩大, 襄阳凹陷沉积局限, 分布范围小, 为红色、灰色泥岩、粉砂岩等; 泌阳、南阳凹陷急剧沉降, 沉积范围较大, 地层向北部广泛超覆, 主要为灰色、暗色砂泥岩, 因此具有较好的生油条件。地层最大沉积厚度在襄阳-枣阳凹陷、南阳凹陷、泌阳凹陷, 分别为 1 300 m、2 100 m、3 700 m(图 7)。

3.4 强烈隆升剥蚀期(古近纪廖庄期)

廖庄组沉积末期, 太平洋板块向欧亚板块强烈俯冲。中国东部地区沉积盆地普遍遭受隆升剥蚀。沉降中心仍在盆地中东部的泌阳凹陷, 但湖盆急剧

缩小,沉积范围仅限于各凹陷最深处,形成一套河流相、膏盐相的红色砂砾岩与泥岩互层;上部的泥岩中含石膏斑晶或石膏夹层。末期的反转隆升幅度邓州

凹陷最大,襄阳、枣阳凹陷次之,泌阳凹陷最小;各凹陷在超覆带和主控断裂带反转褶皱均遭受剥蚀(图6、图7)。

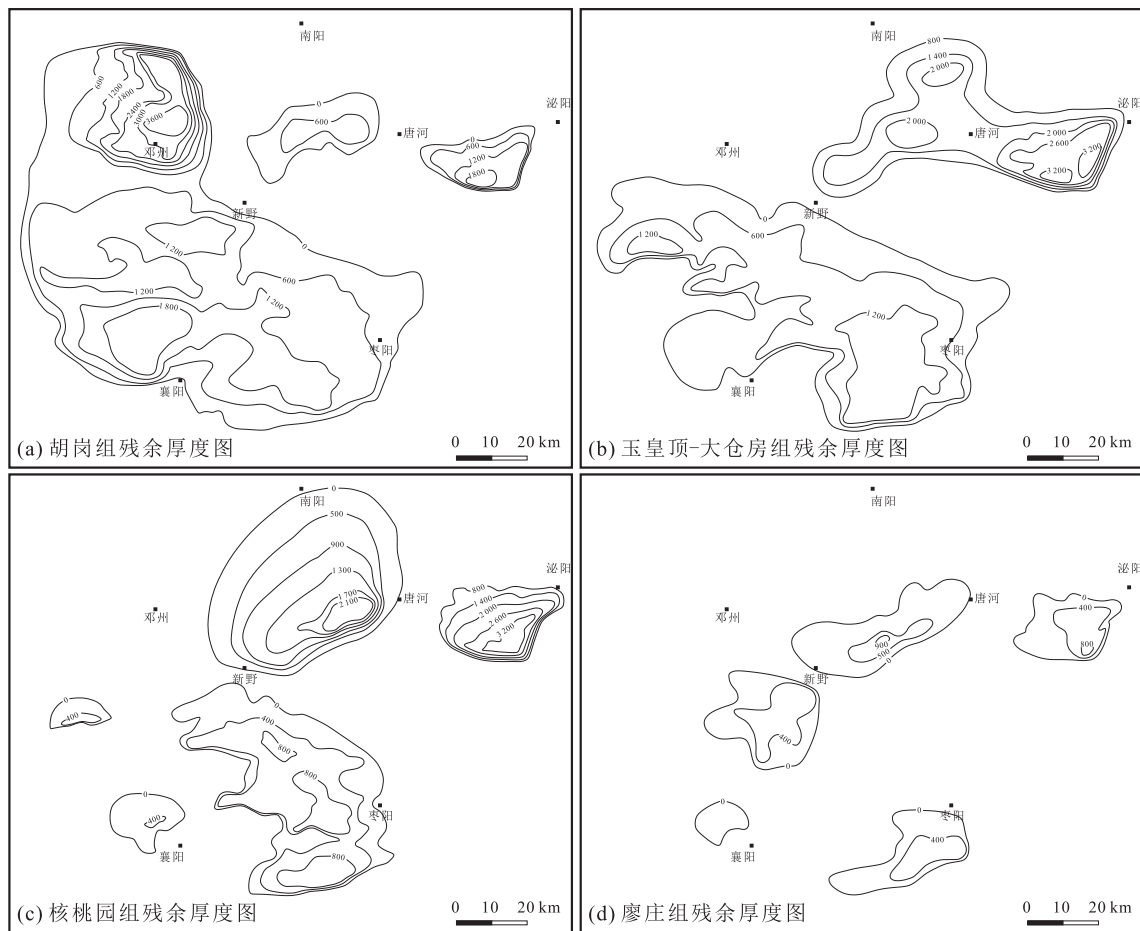


图7 南襄盆地各沉积期地层残余厚度图

Fig. 7 Stratigraphic residual thicknesses of different sedimentary periods in Nanxiang basin

3.5 拗陷期(新近纪)

古近纪末期,太平洋板块向欧亚板块俯冲停止,地幔发生塑性回降,地壳进行重力均衡调整;新近纪开始,盆地整体进入缓慢沉降的拗陷阶段,沉积范围扩大至整个盆地,平原相杂色黏土、砂砾岩覆盖全区,厚度较小,平均不超过500 m;南北向剖面盆地西部拉张量为0.23 km,东部拉张量为0 km,反映沉降沉积中心又向西迁移至邓州凹陷。

4 构造演化控制因素

4.1 基底

结合区域大地构造背景、重磁特征,根据南襄盆

地基底断裂分布和基底构造-岩相图,认为泌阳凹陷位于北秦岭活动陆缘,基底结构和构造相对复杂,发育3组相互切割的主干逆掩或逆冲基底断裂,由3~4类岩相组成。南阳凹陷位于南北秦岭交汇处,基底由大理岩、片麻岩、片岩等组成。襄阳-枣阳凹陷位于南秦岭被动陆缘,基底结构简单,岩相比较单一。

4.2 边界断层几何学与运动学特征差异

控凹边界断层倾角、走向等几何学特征和断距、期次等运动学特征的差异导致其上盘地层构造类型、沉降幅度、沉积厚度的差异。泌阳凹陷边界断层属犁式正断层斜剪切运动模式,边界断层倾角上陡下缓,上盘地层沉降幅度大,斜向下垮塌形成滚动背

斜;南阳凹陷边界断层属转折正断层平行流演化模式,边界断层倾角发生多次转折,断层几何形态控制了上盘地层形态;襄阳、枣阳凹陷边界断层属多米诺式正断层演化模式,上盘沉积地层与断面同向旋转,断面为平面式且逐渐变缓,地层倾角变陡但不变形,形成褶皱。

4.3 泥岩滑脱作用

南襄盆地属陆相断陷湖盆,在各凹陷广泛发育稳定泥岩沉积,是良好的烃源岩和油气封盖层;同时,由于其岩石物理性质软滑,可分隔上下断裂系统,引起分层滑脱构造,使泥岩上下构造层断裂变形和构造样式存在差异。特别是南阳凹陷南部断超带,欠压实泥岩发育,析出的孔隙水对泥岩颗粒移动起润

滑作用,增加了泥岩可塑性,在基底起伏和差异压实作用下导致泥岩底辟上涌作用,形成了东庄背斜。

5 盆地成因机制

从南襄盆地及邻区莫霍面等深度图可知,南襄盆地之下对应地幔隆起区,隆起高度约 1~3 km,在整体地幔隆起的背景上还可划分出 2 个地幔高点和 1 个低点,分别对应盆地内邓州-襄阳-枣阳凹陷、南阳-泌阳凹陷和新野凸起。从过襄阳到登封的地质剖面与莫霍面起伏关系图可知,南襄盆地各凹陷与下伏南襄地幔隆起区不具有典型“水平镜像”关系,推断其成因具简单剪切性质(图 8)。综合南襄盆地

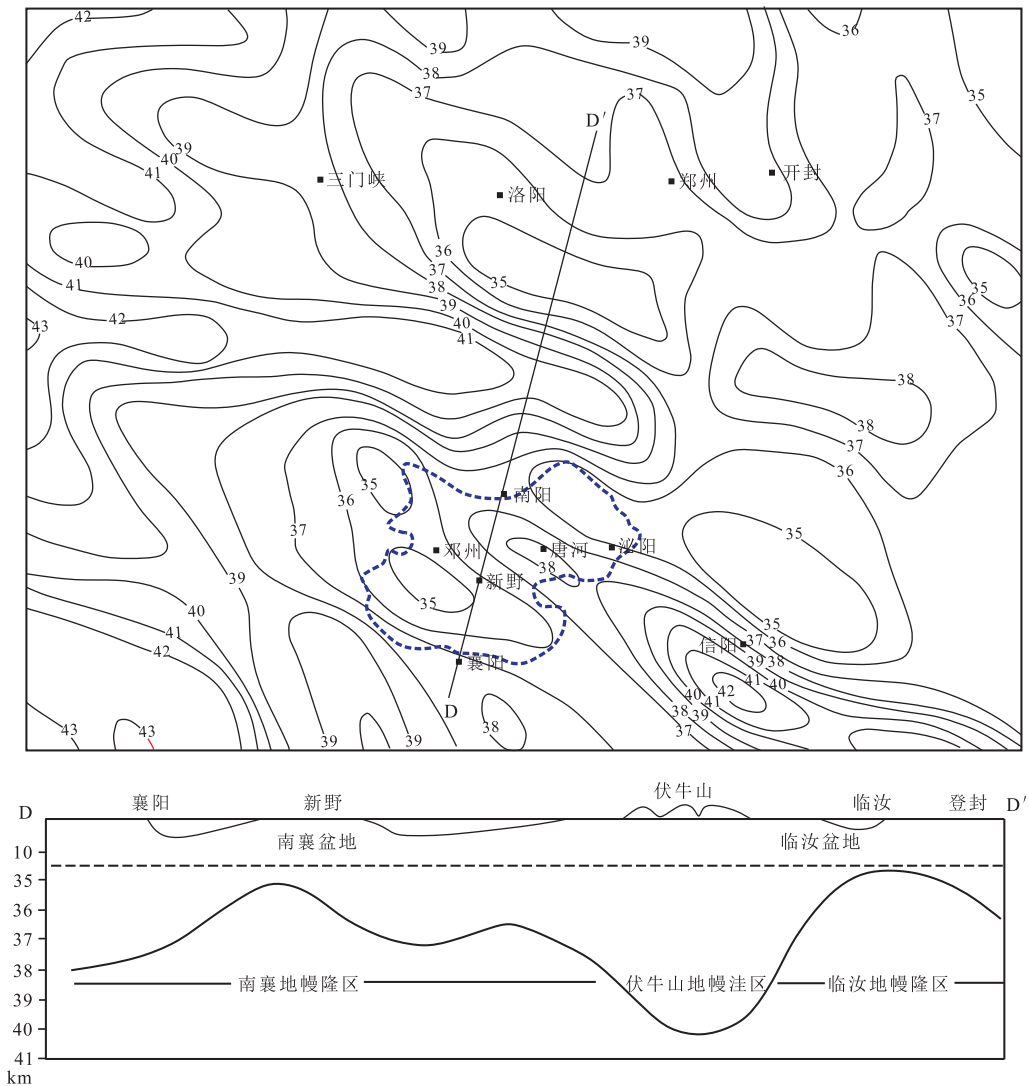


图 8 南襄盆地及临区莫霍面等深度图及剖面图(据王定一等,1987 修改)

Fig. 8 Moho isobathymetric and sectional maps of the Nanxiang basin and its adjacent areas

所处大地构造背景,认为盆地地处华北板块和扬子板块俯冲造山形成的秦岭-大别褶皱造山带之上,属板块薄弱带。中生代以来,在扬子板块向华北板块俯冲造山晚期伸展和太平洋俯冲沟-弧-盆体系等构造应力作用下,盆地基底发生北西-南东向剪切拉张,上地幔大面积隆起,岩浆热流沿基底断裂上涌,形成大规模早白垩世花岗岩类和中酸性火山岩,同时导致岩石圈伸展减薄,在脆性地层内产生陡倾正断层,引起断陷发育。新生代,太平洋板块俯冲作用逐渐停止,变质核杂岩出露地表散失大量热量,地幔冷却塑性回弹,岩石圈伸展作用减弱,盆地进入拗陷期。拗陷期沉降中心与裂陷期沉降中心位置不一致,反映南襄盆地属地壳伸展拆离型裂陷盆地。

综上所述,南襄盆地是在晚白垩世以来北西-南东向剪切拉张应力场下地幔隆起和地壳下沉均衡作用下形成的简单剪切型伸展拆离盆地(李智等,2020c)。

6 结论

(1)南襄盆地平面上是由深大断裂分割的数个隆起和半地堑型凹陷组成,具分带、分段的构造格局;剖面上划分为基底、上白垩统、古近系、新近系—第四系4套构造-地层层序。

(2)南襄盆地构造演化可划分为晚白垩世断陷初期-白垩纪晚期差异反转期、古近纪强烈断陷-廖庄组沉积末期强烈隆升剥蚀、新近纪拗陷期3个伸展-聚敛构造旋回。

(3)泥岩滑脱作用和基底性质差异导致的控凹边界断裂特征不同,是盆地各凹陷地质结构差异的主控因素。南襄盆地是在晚白垩世以来北西-南东向剪切拉张应力场下地幔隆起和地壳下沉均衡作用下形成的简单剪切型伸展拆离盆地。

参考文献(References):

何登发,周新源,杨海军,等. 库车坳陷的地质结构及其对大油气田的控制作用[J]. 大地构造与成矿学,2009,33(1):19-32.

HE Dengfa, ZHOU Xinyuan, YANG Haijun, et al. Geological Structure and Its Controls on Giant Oil and Gas

Fields in Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2009, 33(1): 19-32.

李智,张志业,杨云飞,等. 南襄盆地南阳凹陷地质结构与形成演化[J]. 石油与天然气地质,2021,42(2):456-468.

LI Zhi, ZHANG Zhiye, YANG Yunfei, et al. Geological architecture and tectonic evolution of Nanyang Sag, Nanxiang Basin[J]. Oil and Gas Geology, 2021, 42(2): 456-468.

何登发,马永生,蔡勋育,等. 中国西部海相盆地地质结构控制油气分布的比较研究[J]. 岩石学报,2017,33(4): 1037-1057.

HE Dengfa, MA Yongsheng, CAI Xunyu, et al. Comparison study on controls of geologic structural framework upon hydrocarbon distribution of marine basins in western China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2017, 33(4): 1037-1057.

秦伟军,林社卿,程喆,等. 南襄盆地泌阳凹陷油气成藏作用及成藏模式[J]. 石油与天然气地质,2005,26(5): 668-673.

QIN Weijun, LIN Sheqing, CHENG Zhe, et al. Hydrocarbon accumulation and reservoiring pattern in Biyang depression, Nanxiang Basin[J]. Oil and Gas Geology, 2005, 26(5): 668-673.

程学峰. 泌阳凹陷基岩油气成藏条件分析[J]. 新疆石油地质,2006,27(3):295-298.

CHENG Xuefeng. A study on Petroleum Accumulation in Basement Reservoir, Biyang Sag[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2006, 27(3): 295-298.

陈祥,王敏,严永新,等. 泌阳凹陷陆相页岩油气成藏条件[J]. 石油与天然气地质,2011,32(4):568-576.

CHEN Xiang, WANG Min, YAN Yongxin, et al. Accumulation conditions for continental shale oil and gas in the Biyang Depression[J]. Oil and Gas Geology, 2011, 32(4):568-576.

李智,张志业,何登发,等. 南襄盆地泌阳凹陷与南阳凹陷油气地质特征类比及勘探启示[J]. 地质科技通报,2020a, 39(2):74-84.

LI Zhi, ZHANG Zhiye, HE Dengfa, et al. Comparison in petroleum geology between Biyang Depression and Nan-

- yang Depression in Nanxiang Basin and its exploration significance [J]. *Bulletin of Geological Science and Technology*, 2020a, 39(2): 74-84.
- 解东宁,何明喜,周立发,等. 东秦岭-大别造山带北缘逆冲推覆构造特征及油气前景[J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(1): 48-55.
- XIE Dongning, HE Mingxi, ZHOU Lifa, et al. Characteristics of overthrust structures on northern edge of East Qinling-Dabie orogenic belt and hydrocarbon potentials [J]. *Oil and Gas Geology*, 2006, 27(1): 48-55.
- 李超,陈衍景. 东秦岭-大别地区中生代岩石圈拆沉的岩石学证据评述[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2002, 38(3): 431-441.
- LI Chao, CHEN Yanjing. A Review on Petrologic Evidences for Mesozoic Lithosphere Delamination in East Qinling-Dabie Mountains[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2002, 38(3): 431-441.
- 李宗耀,裴先治,李瑞保,等. 东秦岭商丹地区武关岩群变沉积岩碎屑锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *西北地质*, 2017, 50(1): 151-164.
- LI Zongyao, PEI Xianzhi, LI Ruibao, et al. Detrital Zircon U-Pb Ages and Geological Significances of Meta-Sedimentary Rocks from Wuguan Group in the Shangdan Area of East Qinling[J]. *Northwestern Geology*, 2017, 50(1): 151-164.
- 李运冬,张盼,何孝良,等. 桐柏地区北秦岭地体中片麻状花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及地质意义[J]. *西北地质*, 2018, 51(4): 82-96.
- LI Yundong, ZHANG Pan, HE Xiaoliang, et al. Zircon U-Pb Dating, Geochemical Characteristics of the Gneissic Granite from North Qinling Terrain in Tongbai Area and their Geological Significance[J]. *Northwestern Geology*, 2018, 51(4): 82-96.
- 李智,张志业,何登发,等. 南阳凹陷边界断层三维几何学及运动学特征[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2020b, 42(5): 48-62.
- LI Zhi, ZHANG Zhiye, HE Dengfa, et al. 3D geometrical and kinematic characteristics of the boundary fault in Nanyang Depression[J]. *Journal of Southwest Petroleum University(Science & Technology Edition)*, 2020b, 42(5): 48-62.
- 李智,张志业,何登发,等. 唐河—栗园—泌阳断层的几何学和运动学特征——兼论桐柏造山带与泌阳凹陷的盆—山关系[J]. *地质科学*, 2020c, 55(3): 921-938.
- LI Zhi, ZHANG Zhiye, HE Dengfa, et al. Geometry and kinematics of the Tanghe-Liyuan-Biyang fault and its implication on the relationship between Tongbai orogenic belt and Biyang Depression[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2020c, 55(3): 921-938.
- 王定一,车自成,张树田,等. 南襄盆地构造发育特征及形成机制[J]. *石油与天然气地质*, 1987, 8(4): 363-372.
- WANG Dingyi, CHE Zicheng, ZHANG Shutian, et al. Characteristics of tectonic evolution and formation mechanism in the Nanxiang Basin[J]. *Oil and Gas Geology*, 1987, 8(4): 363-372.
- Li S G, Xiao Y L, Liou D L, et al. Collision of the North China and Yangtze Blocks and formation of coesite-bearing eclogites: Timing and processes[J]. *Chemical Geology*, 1993, 109(1-4): 89-111.
- Mattauer M, Matte PH, Malavieille J, et al. Tectonics of the Qinling Belt: build-up and evolution of eastern Asia [J]. *Nature*, 1985, 317: 496-500.
- Xu Z Q. Etude tectonique et microtectonique de la chaine paleozoique et triasique des Qinling(Chine)[D]. *Academie de Montpellier University des Sciences et Techniques du Languedoc. (Unpublished PhD thesis)*, 1987: 96-98.
- Liu X C, Jahn B M, Dong S W, et al. Triassic retrograded eclogites and Cretaceous gneissic granites in the Tongbai Complex, central China: Implications for the architecture of the HP/UHP Tongbai-Dabie-Sulu collision zone [J]. *Lithos*, 2010, 119(3-4): 211-237.
- Wu Y B, Gao S, Zhang H F, et al. Timing of UHP metamorphism in the Hong'an area, western Dabie Mountains, China: evidence from zircon U-Pb age, trace element and Hf isotope composition[J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 2008, 155: 123-133.